

Pengaruh Tebal Plat Dan Jarak Antar Pipa Terhadap Performansi Kolektor Surya Plat Datar

Philip Kristanto

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra

Yoe Kiem San

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin –Universitas Kristen Petra

Abstrak

Kolektor surya plat datar merupakan suatu peralatan yang dapat digunakan untuk memanaskan air. Kolektor tersebut menyerap energi radiasi dari matahari dan mengkonversikannya menjadi panas pada pipa-pipa kolektor. Parameter-parameter yang berpengaruh terhadap unjuk kerja kolektor tersebut diantaranya adalah ketebalan plat penyerap dan jarak antar pipa-pipa kolektor yang disebut dengan efisiensi sirip kolektor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tebal plat penyerap dan semakin kecil jarak antar pipa-pipa kolektor, efisiensi sirip dari kolektor semakin optimum.

Kata kunci: kolektor surya plat datar, performansi, efisiensi sirip.

Abstract

Flat plate solar collector is an equipment to used for water heater. This collector absorb the radiant energy from the sun and convert it to heat in the tubes collector. Parameters which influence the performance this collector are thickness of the plate absorber and distance between the tubes which called collector fin efficiency. From the research it is found that more and more the thickness of the plate absorber and more and more the small distance between of the tubes collector, more and more optimum fin efficiency the collector.

Keywords: flat plate solar collector, performance, fin efficiency.

Daftar Notasi

A_c	Luasan kolektor (m^2)
d	Diameter pipa (m)
F	Efisiensi sirip
H	Laju radiasi sorotan (beam) atau sebaran (difus) pada suatu satuan luas permukaan (W/m^2).
k	Konduktivitas termal material ($Watt/m^{\circ}C$)
l	Tebal isolasi (m)
Q_L	Laju kehilangan energi dari kolektor ke lingkungan oleh radiasi balik, konveksi dan konduksi (W/m^2).
Q_{Lt}	Kerugian kalor atas (top loss) (W/m^2)
Q_s	Laju energi yang tersimpan dalam kolektor (W/m^2)
Q_u	Laju pertukaran kalor yang digunakan ke fluida (W/m^2)
R	Faktor perubah radiasi sorotan atau difus (tak berdimensi)
t_a	Temperatur lingkungan ($^{\circ}C$)
T_L	Temperatur langit ($^{\circ}C$)
t_p	Temperatur plat ($^{\circ}C$)
U_b	Koefisien kerugian kalor bagian bawah ($Watt/m^2.K$)

U_L	Kerugian kalor total ($Watt/m^2.K$)
U_t	Koefisien kerugian kalor bagian atas ($Watt/m^2.K$)
V	Kecepatan angin (m/s)
w	Jarak antar pipa (m)
s	Konstanta Stefan Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} Watt/m^2.K^4$
e_p	Emitansi plat (tak berdimensi)
e_k	Emitansi kaca (tak berdimensi)
δ	Tebal plat (m)

1. Pendahuluan

Suatu karunia yang sangat besar, Indonesia sebagai negara yang berada pada daerah katulistiwa, dapat memanfaatkan energi yang berasal dari matahari untuk berbagai keperluan hampir sepanjang waktu, salah satu diantaranya adalah untuk memanaskan cairan. Untuk itu dibutuhkan suatu peralatan yang berfungsi untuk mengumpulkan energi radiasi yang datang dari matahari, peralatan ini disebut *kolektor surya*.

Sebuah kolektor surya plat datar terdiri dari plat penyerap yang memiliki konduktivitas

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 4 Nomor 1 April 2002.

termal yang baik, dimana plat penyerap ini berhubungan dengan pipa-pipa yang mengalirkan cairan, sebuah atau lebih penutup tembus cahaya di bagian atas (biasanya digunakan kaca). Energi radiasi matahari yang datang, ditransmisikan melalui penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh plat penyerap dimana bagian dasar dan sisi plat penyerap diberi isolasi. Panas yang diterima oleh plat penyerap selanjutnya dikonduksikan ke pipa-pipa pembawa cairan.

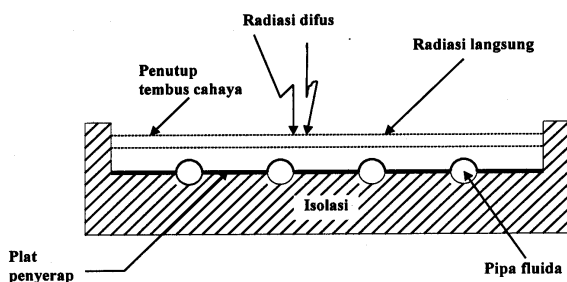
Untuk menghasilkan unjuk kerja yang optimal dari suatu kolektor surya yang akan dimanfaatkan untuk memanaskan cairan membutuhkan parameter-parameter desain. Salah satu parameter-parameter desain yang berkaitan dengan optimalisasi unjuk kerja suatu kolektor adalah ketebalan plat penyerap, konduktivitas termal plat penyerap, jarak antara pipa-pipa pembawa cairan yang disebut dengan *efisiensi sirip*.

Diduga ada suatu korelasi antara ketebalan plat dan jarak antar pipa-pipa kolektor terhadap unjuk kerja dari kolektor. Mengacu pada hal ini maka dilakukan suatu penelitian untuk mendapatkan konfigurasi yang sesuai dari parameter-parameter diatas guna menghasilkan unjuk kerja yang optimal pada kolektor.

2. Landasaan Teori

2.1 Kolektor Surya Plat Datar

Komponen-komponen sebuah kolektor surya plat datar terdiri dari permukaan "hitam" sebagai penyerap energi radiasi matahari yang kemudian dipindahkan ke fluida. Penutup tembus cahaya (kaca) berfungsi mengurangi efek radiasi dan konveksi yang hilang ke atmosfer. Pipa-pipa aliran fluida berfungsi mengalirkan fluida yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian konduksi ke lingkungan. Skema kolektor surya plat datar ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Kolektor Surya Plat Datar

Performansi kolektor dinyatakan dengan keseimbangan energi yang menggambarkan distribusi energi matahari yang datang terhadap energi yang bermanfaat dan beberapa energi yang hilang².

$$A_c \left[\{H R(ta)\}_b + \{H R(ta)\}_d \right] = Q_U + Q_L + Q_S \quad (1)$$

2.2 Koefisien Kerugian Kalor

Kerugian kalor terjadi pada bagian atas dan bagian bawah dari kolektor, masing-masing disebut dengan *kerugian kalor atas* dan *kerugian kalor bawah*. Kalor yang hilang dari bagian atas plat penyerap disebabkan konveksi alam dan radiasi ke permukaan dalam dari plat penutup kaca. Panas ini dikonduksikan oleh plat kaca ke permukaan luarnya untuk selanjutnya dipindahkan ke atmosfer secara konveksi dan radiasi. Kerugian panas ini disebut dengan kerugian kalor atas (*top loss*), Q_{Lt} dan dinyatakan dengan⁴:

$$Q_{Lt} = U_t (t_p - t_a) \text{ Watt/m}^2 \quad (2)$$

2.2.1 Kerugian Kalor Atas

Prosedur untuk menentukan koefisien kerugian kalor bagian atas dapat dilakukan dengan menggunakan proses iterasi. Untuk penutup kaca tunggal berlaku hubungan²:

$$U_t = \left[\frac{1}{h_{p-k} + h_{r,p-k}} + \frac{1}{h_w + h_{r,k-l}} \right] \text{ Watt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (3)$$

Koefisien konveksi antara plat dengan kaca, h_{p-k} dinyatakan dengan⁴:

$$h_{p-k} = 1 - 0.0018(\bar{T} - 10) \frac{1.14 \Delta T^{0.310}}{L^{0.07}} \text{ Watt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (4)$$

Koefisien konveksi angin, h_w dinyatakan sebagai^{2,4}:

$$h_w = 5.7 + 3.8 V \text{ Watt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (5)$$

Koefisien radiasi dari plat ke kaca dinyatakan dengan⁴:

$$h_{r,p-k} = \frac{s (T_p^2 + T_k^2) (T_p + T_k)}{\left(\frac{1}{e_p} \right) + \left(\frac{1}{e_k} \right) - 1} \text{ Watt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (6)$$

Koefisien radiasi dari kaca ke lingkungan (langit)⁴:

$$h_{r,k-l} = e_k s (T_k^2 + T_l^2) (T_k + T_l) \text{ Watt/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (7)$$

Menurut Swinbank² suhu langit dinyatakan dengan:

$$T_l = 0.0552 T_{udara}^{1.5} \quad (8)$$

2.2.2 Kerugian Kalor Bawah

Koefisien kerugian kalor bagian bawah, U_b dinyatakan dengan:

$$U_b = \frac{k}{l} \text{ watt} / (m^2 \cdot ^\circ C) \quad (9)$$

2.2.3 Kerugian Kalor Total, U_L

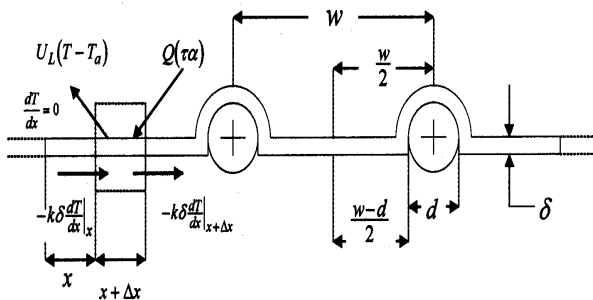
Kerugian kalor total, U_L merupakan jumlah dari kerugian kalor bagian atas, U_t dengan kerugian kalor bagian bawah, U_b

$$U_L = U_t + U_b \text{ Watt} / (m^2 \cdot ^\circ C) \quad (10)$$

2.3 Efisiensi Sirip

Efisiensi sirip merupakan salah satu parameter yang cukup penting dalam perhitungan desain kolektor plat datar yang digunakan sebagai pemanas cairan. Gambar 2 memperlihatkan neraca kalor pada kolektor matahari.

Jarak antar pipa pembawa cairan w , tebal plat penyerap d diameter pipa d serta konduktivitas termal plat penyerap k merupakan parameter-parameter yang berhubungan dengan efisiensi sirip. Kerugian kalor penyerap akan minimum jika seluruh sirip berada pada temperatur dasar T_b . Hal ini dapat diatasi dengan memilih plat penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik dengan ketebalan d yang cukup memadai serta alur aliran kalor $(w-d)/2$ sependek mungkin.



Gambar 2. Neraca Kalor Pada Sebuah Elemen Sirip

Jumlah radiasi yang diserap oleh elemen sirip dengan lebar, Δx dan satu satuan kedalaman, $Q(ta)\Delta x$ dan kalor yang dikonduksikan ke dalam elemen pada jarak x , $-k d \frac{dT}{dx}|_x$ sama dengan kerugian kalor dari elemen sirip ke bagian luar, $U_L(T - T_a)$ ditambah kalor yang dikonduksikan keluar dari elemen

pada $x + \Delta x$, yaitu $-k d \frac{dT}{dx}|_{x+\Delta x}$, atau dituliskan

dengan 2:

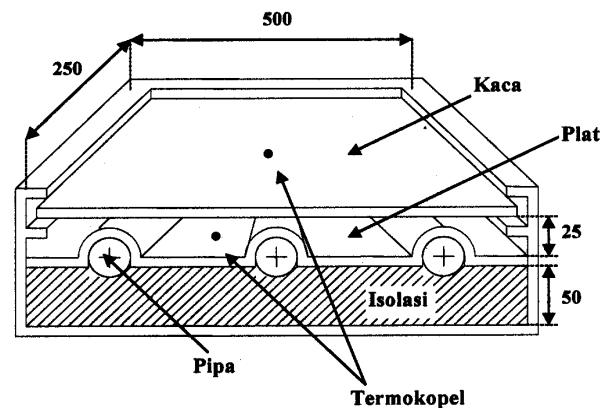
$$Q(ta)\Delta x - k d \frac{dT}{dx}|_x = U_L(T - T_a)\Delta x - k d \frac{dT}{dx}|_{x+\Delta x} \quad (11)$$

Efisiensi sirip dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kalor yang dipindahkan ke dalam sirip terhadap kalor yang dipindahkan jika seluruh sirip berada pada suhu dasar T_b atau dapat dinyatakan secara matematis sebagai 2:

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{w-d}{2}\right) \sqrt{\frac{U_L}{k d}}}{\left(\frac{w-d}{2}\right) \sqrt{\frac{U_L}{k d}}} \quad (12)$$

3. Percobaan

3.1 Peralatan



Gambar 3. Susunan Dan Dimensi Alat

Susunan dan dimensi peralatan percobaan ditunjukkan pada gambar 3.

○ Plat Penyerap

- Bahan: Tembaga ($k = 386 \text{ W} / (m^2 \cdot ^\circ C)$)
- Tebal: 0.5mm, 0.8mm, 1.0mm dan 1.2mm
- Panjang: 500 mm
- Lebar: 250 mm
- Jumlah: 16 lembar

○ Pipa Cairan

- Bahan: Tembaga
- Diameter luar 1.5cm
- Tebal: 0.8 mm
- Panjang: 250 mm
- Jumlah: 72 buah

○ Kaca penutup

- Bahan: Kaca bening
- Tebal: 3 mm
- Jumlah: 4 buah

- Isolator
 - Bahan: Gabus butiran halus ($k = 0.043 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$)
 - Tebal: 50 mm
- Kerangka
 - Bahan: Kayu dan triplek
 - Jumlah: 4 buah
- Alat Ukur:
 - Velometer type ALNOR, untuk mengukur kecepatan angin.
 - Termokopel (8 buah) untuk mengukur suhu permukaan plat dan permukaan kaca.
 - Termometer air raksa (1 buah)

3.2 Prosedur Percobaan

Percobaan dilakukan mulai jam 10.00 sampai dengan jam 15.00 dalam kondisi cuaca cerah dengan prosedur sebagai berikut:

1. Secara serentak dilaksanakan pengukuran suhu permukaan plat dan permukaan kaca terhadap 4 buah kolektor dengan ketebalan plat yang berbeda-beda dan jarak antar pipa sama untuk masing-masing kolektor. Dicatat pula suhu lingkungan sekitar dan kecepatan angin di lokasi percobaan.
2. Langkah di atas dilakukan sebanyak 3 kali pada jam yang berbeda dalam hari yang sama dengan terlebih dahulu memindahkan kolektor ke tempat yang teduh.
3. Langkah pertama dan kedua di atas diulang untuk kombinasi dari 4 ketebalan plat yang berbeda dan 4 jarak antar pipa yang berbeda.

3.3 Data Hasil Percobaan

Data rata-rata hasil pengukuran dan perhitungan ditunjukkan pada tabel dibawah ini dengan kecepatan angin rata-rata 4 m/s dan suhu lingkungan rata 32.5°C.

Tabel 1. Tebal Plat 0.5 mm.

W (mm)	$T_{\text{plat}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{kaca}} (^{\circ}\text{C})$	U_L $\text{W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$	$\frac{w-d}{2}$ (mm)	$\sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	$\frac{w-d}{2} \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	F
73.6	79.7	41.9	7.93	29.3	6.41	0.1878	0.9884
85.8	81.6	42.1	7.99	35.4	6.43	0.2276	0.9831
103	85.7	42	8.07	44	6.47	0.2847	0.9738
128.8	87.9	42.1	8.13	56.9	6.49	0.3693	0.9569

Tabel 2. Tebal Plat 0.8 mm.

W (mm)	$T_{\text{plat}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{kaca}} (^{\circ}\text{C})$	U_L $\text{W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$	$\frac{w-d}{2}$ (mm)	$\sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	$\frac{w-d}{2} \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	F
73.6	77.1	41.9	7.84	29.3	5.04	0.1477	0.9928
85.8	79.4	42.1	7.90	35.4	5.06	0.1791	0.9894
103	81.6	42	7.96	44	5.08	0.2235	0.9837
128.8	83.7	42.1	7.97	56.9	5.08	0.2891	0.9730

Tabel 3 Tebal Plat 1.0 mm.

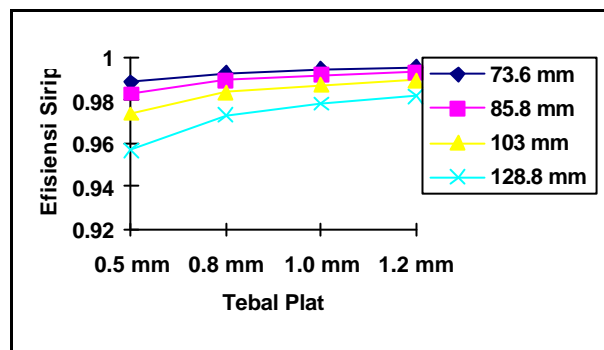
W (mm)	$T_{\text{plat}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{kaca}} (^{\circ}\text{C})$	U_L $\text{W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$	$\frac{w-d}{2}$ (mm)	$\sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	$\frac{w-d}{2} \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	F
73.6	74.8	41.9	7.77	29.3	4.49	0.1316	0.9943
85.8	76.1	42.1	7.84	35.4	4.51	0.1597	0.9916
103	78.2	42	7.87	44	4.52	0.1989	0.9870
128.8	80.5	42.1	7.93	56.9	4.53	0.2578	0.9784

Tabel 4 Tebal Plat 1.2 mm.

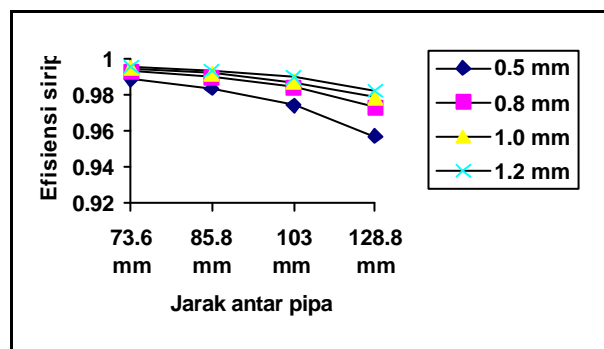
W (mm)	$T_{\text{plat}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{kaca}} (^{\circ}\text{C})$	U_L $\text{W/(m}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$	$\frac{w-d}{2}$ (mm)	$\sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	$\frac{w-d}{2} \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$	F
73.6	71.5	41.9	7.67	29.3	4.07	0.1193	0.9953
85.8	73.3	42.1	7.73	35.4	4.09	0.1448	0.9931
103	76.4	42	7.82	44	4.11	0.1808	0.9892
128.8	78.9	42.1	7.89	56.9	4.13	0.2350	0.9820

4. Analisa Data

Dari data-data hasil pengukuran dan perhitungan dapat dibentuk kurva sebagai mana yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Kurva Efisiensi Sirip Sebagai Fungsi Ketebalan Plat untuk 4 Varian Jarak Antar Pipa.



Gambar 5. Kurva Efisiensi Sirip Sebagai Fungsi Jarak Antar Pipa untuk 4 Varian Ketebalan Plat.

Berdasarkan kedua kurva di atas nampak bahwa semakin tebal plat penyerap dan semakin rapat jarak antar pipa, maka semakin besar efisiensi sirip kolektor. Hal ini terjadi pada jarak antar pipa 73.6 mm dengan

ketebalan plat penyerap 1.2 mm dengan efisiensi sirip 99.53 %. Semakin kecil penyebut yang dituliskan pada persamaan (12), maka semakin besar nilai efisiensi sirip. Hal ini disebabkan karena luasan permukaan kolektor secara riil akan bertambah dengan adanya lengkungan dari pipa, sehingga makin banyak kalor yang mampu diserap oleh kolektor. Demikian pula halnya dengan ketebalan plat penyerap. Semakin tebal plat penyerap akan memiliki kapasitas kalor yang semakin besar, sehingga kemampuannya untuk mengkonduksikan kalor ke pipa cairan akan lebih besar. Untuk kebutuhan rancangan desain kolektor yang ekonomis tetapi tetap memiliki daya guna yang optimal dapat digunakan plat penyerap yang lebih tipis dengan mempersempit jarak antar pipa. Upaya lain yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sirip dari kolektor adalah mempertebal isolasi (dengan konduktivitas termal serendah mungkin) pada bagian bawah plat penyerap, sehingga mengurangi kerugian panas total, U_L .

5. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari percobaan ini adalah:

1. Terdapat hubungan yang cukup signifikan antara ketebalan plat penyerap dan jarak antar pipa penyalur cairan terhadap performansi kolektor plat datar yang dinyatakan dengan efisiensi siripnya.
2. Efisiensi sirip tertinggi dalam percobaan ini dihasilkan dengan konfigurasi ketebalan plat 1.2 mm dan jarak antar pipa penyalur cairan 73.6 mm
3. Berdasarkan parameter persamaan $\sqrt{\frac{U_L}{kd}}$ dalam perhitungan efisiensi sirip. Untuk penggunaan plat yang lebih tipis dapat dilakukan dengan memilih material yang memiliki nilai k yang lebih besar, memperkecil kerugian kalor total dengan jalan memilih bahan isolator dengan nilai k serendah mungkin serta mempertebal bahan isolator yang digunakan.

Daftar Pustaka

1. Anderson, Bruce, "Solar Energy Fundamentals in Building Design", Mc Graw-Hill inc. 1977.
2. Duffie, A. John & Beckmann, William, A, "Solar Energy Thermal Processes", John Wiley & sons.

3. Kreith, Frank and Kreider, Jan, F., "Principles of Solar Engineering", Hemisphere publishing, Co. 1978.
4. Arismunandar, Wiranto, "Teknologi Rekayasa Surya", P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.